

PROJECTION EXPOSURE APPARATUS AND DEVICE MANUFACTURING METHOD

Patent Number: ☐ US2002033934
Publication date: 2002-03-21
Inventor(s): ISHII HIROYUKI (JP)
Applicant(s):
Requested Patent: ☐ JP11297620
Application Number: US19990247087 19990209
Priority Number(s): JP19980029742 19980212; JP19990010375 19990119
IPC Classification: G03B27/52
EC Classification: G03B27/52, G03F7/20T
Equivalents: JP3278407B2

Abstract

A projection exposure apparatus for projecting a pattern of a mask, illuminated with exposure light, onto a substrate through a projection optical system, is disclosed wherein a wavelength changing device for changing the wavelength of exposure light is provided to reduce a change in optical characteristic of the projection optical system due to a change in atmospheric pressure, wherein the projection optical system has plural refractive optical elements made by use of two or more glass materials, wherein interspaces of refractive optical elements are filled with gaseous fluids of a pressure the same as or substantially the same as atmospheric pressure, and wherein a gaseous fluid in at least one interspace differs in refractive index from a gaseous fluid in at least one of the remaining interspaces

Data supplied from the esp@cenet database - I2

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-297620

(43) 公開日 平成11年(1999)10月29日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

F I

H 0 1 L 21/027

H 0 1 L 21/30

5 1 5 D

G 0 3 F 7/20

5 2 1

G 0 3 F 7/20

5 2 1

H 0 1 L 21/30

5 1 6 A

5 1 6 F

審査請求 有 請求項の数24 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平11-10375

(22) 出願日 平成11年(1999) 1 月19日

(31) 優先権主張番号 特願平10-29742

(32) 優先日 平10(1998) 2 月12日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(72) 発明者 石井 弘之

東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤノ
ン株式会社内

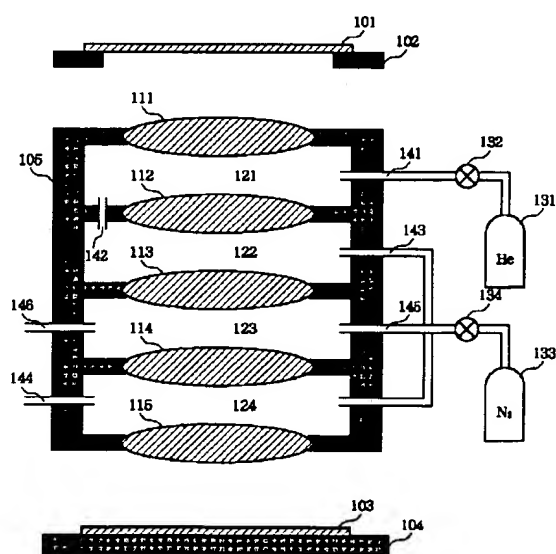
(74) 代理人 弁理士 丸島 備一

(54) 【発明の名称】 投影露光装置及びデバイス製造方法

(57) 【要約】

【課題】 二種類以上の硝材を用いた複数の屈折光学素子を有する投影光学系の大気圧変化による光学特性の変化を補正又は十分に小さくする。

【解決手段】 投影光学系105の空気間隔121と空気間隔122と空気間隔124のそれぞれの空間がヘリウムガスで満たされていて大気に開放され、空気間隔123の空間が窒素ガスで満たされて大気に開放されており、大気圧の変化を検出する気圧計の出力に基いてマスク101を照明するArFエキシマレーザー光の波長を変化させることにより大気圧変化による投影光学系の球面収差やコマ収差や像面湾曲等の変化を補正する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 露光光で照明されたマスクのパターンを投影光学系によって基板上に投影する投影露光装置において、前記露光光の波長を変えることによって大気圧の変化による前記投影光学系の光学特性の変化を小さくする手段を有し、前記投影光学系が二種類以上の硝材を用いた複数の屈折光学素子を有し且つ屈折光学素子間の空間のそれぞれに大気圧と同一又はほぼ同一の圧力となる気体が満たされていて該空間の内の少なくとも一つの空間の気体が他の少なくとも一つの空間の気体とは屈折率が異なる気体であることを特徴とする投影露光装置。

【請求項2】 露光光で照明されたマスクのパターンを投影光学系によって基板上に投影する投影露光装置において、前記露光光の波長を変えることによって大気圧の変化による前記投影光学系の光学特性の変化を実質的に補正する手段を有し、前記投影光学系が二種類以上の硝材を用いた複数の屈折光学素子を有し且つ屈折光学素子間の空間のそれぞれに大気圧と同一又はほぼ同一の圧力となる気体が満たされていて該空間の内の少なくとも一つの空間の気体が他の少なくとも一つの空間の気体とは屈折率が異なる気体であることを特徴とする投影露光装置。

【請求項3】 露光光で照明されたマスクのパターンを投影光学系によって基板上に投影する投影露光装置において、大気圧の変化を検出する検出手段と、該検出手段の出力に応じて前記露光光の波長を変える波長変更手段とを有し、前記投影光学系が二種類以上の硝材を用いた複数の屈折光学素子を有し且つ屈折光学素子間の空間のそれぞれに大気圧と同一又はほぼ同一の圧力となる気体が満たされていて該二個以上の空間の内の少なくとも一つの空間の気体が他の少なくとも一つの空間の気体とは屈折率が異なる気体であることを特徴とする投影露光装置。

【請求項4】 露光光で照明されたマスクのパターンを投影光学系によって基板上に投影する投影露光装置において、前記露光光の波長を変えることによって大気圧の変化による前記投影光学系の光学特性の変化を小さくする手段を有し、前記投影光学系が二種類以上の硝材を用いた複数のレンズ素子を有し且つレンズ素子間の空間のそれぞれに大気圧と同一又はほぼ同一の圧力となる不活性ガスが満たされていて該空間の内の少なくとも一つの空間のガスが他の少なくとも一つの空間のガスとは屈折率が異なるガスであることを特徴とする投影露光装置。

【請求項5】 露光光で照明されたマスクのパターンを投影光学系によって基板上に投影する投影露光装置において、前記露光光の波長を変えることによって大気圧の変化による前記投影光学系の光学特性の変化を実質的に補正する手段を有し、前記投影光学系が二種類以上の硝材を用いた複数のレンズ素子を有し且つ光学素子間の空間のそれぞれに大気圧と同一又はほぼ同一の圧力となる

不活性ガスが満たされていて該二個以上の空間の内の少なくとも一つの空間のガスが他の少なくとも一つの空間のガスとは屈折率が異なるガスであることを特徴とする投影露光装置。

【請求項6】 露光光で照明されたマスクのパターンを投影光学系によって基板上に投影する投影露光装置において、大気圧の変化を検出する検出手段と、該検出手段の出力に応じて前記露光光の波長を変える波長変更手段とを有し、前記投影光学系が二種類以上の硝材を用いた複数のレンズ素子を有し且つレンズ素子間の空間のそれぞれに大気圧と同一又はほぼ同一の圧力となる不活性ガスが満たされていて該空間の内の少なくとも一つの空間のガスが他の少なくとも一つの空間のガスとは屈折率が異なるガスであることを特徴とする投影露光装置。

【請求項7】 前記光学特性は球面収差、コマ収差、歪曲収差、非点収差、像面湾曲のうちの又は複数の収差であること特徴とする請求項1～請求項6の投影露光装置。

【請求項8】 前記露光光の波長が250nm以下であることを特徴とする請求項1～請求項7の投影露光装置。

【請求項9】 前記露光光の波長が200nm以下であることを特徴とする請求項8の投影露光装置。

【請求項10】 前記屈折率が異なる気体は、互いに異なる硝材より成る2つの屈折光学素子の間の空間に満たされることを特徴とする請求項9の投影露光装置。

【請求項11】 前記互いに屈折率が異なる複数の気体（ガス）のそれぞれの屈折率は約1であることを特徴とする請求項1～9の投影露光装置。

【請求項12】 前記互いに屈折率が異なる複数の気体はヘリウムと窒素を有することを特徴とする請求項1～9の投影露光装置。

【請求項13】 前記互いに屈折率が異なる複数の気体がそれぞれ不活性ガスであることを特徴とする請求項1～3、7～9の投影露光装置。

【請求項14】 前記互いに屈折率が異なる複数の気体（ガス）は、それぞれ、単一種類の気体のみ又は複数種類の気体の混合物より成ることを特徴とする請求項1～9の投影露光装置。

【請求項15】 前記投影光学系の光学素子間の空間のうちの全ての空間に大気圧と同一又はほぼ同一の圧力の気体が満たされおり、これらの空間のうち開口絞りの近傍にある一つの空間の気体が窒素であり、残りの全ての空間の気体がヘリウムであることを特徴とする請求項9の投影露光装置。

【請求項16】 前記大気圧変化により変化する光学特性の内の球面収差を補正するための補正光学系を有する請求項1～9の投影露光装置。

【請求項17】 前記大気圧変化により変化する光学特性の内のピント位置を実質的に補正するために前記基板を前記投影光学系の光軸方向に移動させる駆動機構を有

することを特徴とする請求項1～9の投影露光装置。

【請求項18】 前記大気圧変化により変化する光学特性の内の投影倍率を補正するための補正光学系を有する請求項1～9の投影露光装置。

【請求項19】 前記大気圧変化により変化する光学特性の内の歪曲収差を補正するための補正光学系を有する請求項1～9の投影露光装置。

【請求項20】 前記大気圧変化により変化する光学特性の内の非点収差を補正する補正光学系を有することを特徴とする請求項1～9の投影露光装置。

【請求項21】 前記大気圧変化により変化する光学特性の内の像面湾曲を補正する補正光学系を有することを特徴とする請求項1～9の投影露光装置。

【請求項22】 前記大気圧変化により変化する光学特性の内のコマ収差を補正する補正光学系を有することを特徴とする請求項1～9の投影露光装置。

【請求項23】 前記互いに屈折率が異なる複数の気体（ガス）の圧力が互いに異なることを特徴とする請求項1～9の投影露光装置。

【請求項24】 ウエハにレジストを塗布する段階と、前記ウエハのレジストを請求項1乃至請求項23のいずれかの装置によりマスクのデバイスパターンの像で感光させる段階と、前記デバイスパターン像でレジストを感光したウエハを現像する段階とを有するデバイス製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、投影露光装置及びデバイス製造方法に関し、特に、大気圧変化による投影光学系の光学特性の変化を補正又は小さくできる機能を備えた投影露光装置及びこのような投影露光装置を用いて半導体チップや液晶素子や撮像素子や磁気センサ等のデバイスを製造するデバイス製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】投影露光装置の投影光学系は通常レンズに代表される屈折光学素子を備えており、大気圧変化による投影光学系の光学素子間の空気の圧力変化によって空気自身の屈折率が変化し、硝材と空気の相対屈折率が変化する。このため投影光学系のピント位置、投影倍率、歪曲収差、球面収差、コマ収差、非点収差、像面湾曲などの光学特性が変化する。

【0003】そこで特開平1-123238号公報や特開平8-305034号公報が示す投影露光装置は、投影光学系に用いている屈折光学素子の全てを同じ硝材（熔融石英）で構成し、露光用のKrFエキシマレーザー光（波長248nm）の波長を変化させて硝材の屈折率を変えることによって大気圧変化による硝材と空気の相対屈折率の変化を補正し、前述の光学特性を全て補正している。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、例えばArFエキシマレーザー光（波長193nm）を用いる投影露光装置のように、より微細なデバイスパターンを基板のレジストに投影する必要があるため、そのために投影光学系の複数の屈折光学素子に熔融石英と蛍石といった二種類以上の硝材を用いて色収差を補正している場合は、それぞれの硝材の屈折率や分散が互いに異なるためにレーザー光の波長を変化させてそれぞれの硝材の屈折率を変えても大気圧変化による硝材と空気の相対屈折率の変化をすべての硝材について補正することはできず、そのため前述の光学特性の変化を良好に補正することができない。尚、二種類以上の硝材を用いた投影光学系を用いる場合に関しては上記特開平10-305034号で簡単に言及されている。

【0005】本発明の目的は、二種類以上の硝材を用いた複数の屈折光学素子を有する投影光学系の大気圧変化による光学特性の変化を小さくすることができる投影露光装置やこの投影露光装置を用いるデバイス製造方法とを提供することにある。

【0006】本発明の目的は、二種類以上の硝材を用いた複数の屈折光学素子を有する投影光学系の大気圧変化による光学特性の変化を実質的に補正（ゼロ又はパターンの解像に問題が生じない程度まで）することができる投影露光装置やこの投影露光装置を用いるデバイス製造方法とを提供することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、本願請求項1の発明は、露光光で照明されたマスクのパターンを投影光学系によって基板上に投影する投影露光装置において、前記露光光の波長を変えることによって大気圧の変化による前記投影光学系の光学特性の変化を小さくする手段を有し、前記投影光学系が二種類以上の硝材を用いた複数の屈折光学素子を有し且つ屈折光学素子間の空間のそれぞれに大気圧と同一又はほぼ同一の圧力となる気体が満たされていて該空間の内の少なくとも一つの空間の気体が他の少なくとも一つの空間の気体とは屈折率が異なる気体であることを特徴とする。

【0008】又、本願請求項2の発明は、露光光で照明されたマスクのパターンを投影光学系によって基板上に投影する投影露光装置において、前記露光光の波長を変えることによって大気圧の変化による前記投影光学系の光学特性の変化を実質的に補正する手段を有し、前記投影光学系が二種類以上の硝材を用いた複数の屈折光学素子を有し且つ屈折光学素子間の空間のそれぞれに大気圧と同一又はほぼ同一の圧力となる気体が満たされていて該空間の内の少なくとも一つの空間の気体が他の少なくとも一つの空間の気体とは屈折率が異なる気体であることを特徴とする。

【0009】又、本願請求項3の発明は、露光光で照明されたマスクのパターンを投影光学系によって基板上に

投影する投影露光装置において、大気圧の変化を検出する検出手段と、該検出手段の出力に応じて前記露光光の波長を変える波長変更手段とを有し、前記投影光学系が二種類以上の硝材を用いた複数の屈折光学素子を有し且つ屈折光学素子間の空間のそれぞれに大気圧と同一又はほぼ同一の圧力となる気体が満たされていて該二個以上の空間の内の少なくとも一つの空間の気体は他の少なくとも一つの空間の気体とは屈折率が異なる気体であることを特徴とする。

【0010】又、本願請求項4の発明は、露光光で照明されたマスクのパターンを投影光学系によって基板上に投影する投影露光装置において、前記露光光の波長を変えることによって大気圧の変化による前記投影光学系の光学特性の変化を小さくする手段を有し、前記投影光学系が二種類以上の硝材を用いた複数のレンズ素子を有し且つレンズ素子間の空間のそれぞれに大気圧と同一又はほぼ同一の圧力となる不活性ガスが満たされていて該空間の内の少なくとも一つの空間のガスが他の少なくとも一つの空間のガスとは屈折率が異なるガスであることを特徴とする。

【0011】又、本願請求項5の発明は、露光光で照明されたマスクのパターンを投影光学系によって基板上に投影する投影露光装置において、前記露光光の波長を変えることによって大気圧の変化による前記投影光学系の光学特性の変化を実質的に補正する手段を有し、前記投影光学系が二種類以上の硝材を用いた複数のレンズ素子を有し且つ光学素子間の空間のそれぞれに大気圧と同一又はほぼ同一の圧力となる不活性ガスが満たされていて該二個以上の空間の内の少なくとも一つの空間のガスが他の少なくとも一つの空間のガスとは屈折率が異なるガスであることを特徴とする。

【0012】又、本願請求項6の発明は、露光光で照明されたマスクのパターンを投影光学系によって基板上に投影する投影露光装置において、大気圧の変化を検出する検出手段と、該検出手段の出力に応じて前記露光光の波長を変える波長変更手段とを有し、前記投影光学系が二種類以上の硝材を用いた複数のレンズ素子を有し且つレンズ素子間の空間のそれぞれに大気圧と同一又はほぼ同一の圧力となる不活性ガスが満たされていて該空間の内の少なくとも一つの空間のガスが他の少なくとも一つの空間のガスとは屈折率が異なるガスであることを特徴とする。

【0013】又、本発明のデバイス製造方法は、ウエハにレジストを塗布する段階と、このウエハのレジストを上記の本発明の投影露光装置によりマスクのデバイスパターン像で感光させる段階と、前記デバイスパターン像でレジストを感光したウエハを現像する段階とを有することを特徴としている。

【0014】

【発明の実施の形態】図1は本発明の一実施形態を示す

概略図である。

【0015】図1において、マスクやレチクル101（以下、「マスク101」と記す）に描かれている半導体チップ（IC、LSI）回路の原画（以下、「回路パターン」と記す）は不図示の照明系によりArFエキシマレーザー光（波長193nm）で、照度分布が均一になるように照明され、回路パターンの像が、投影光学系105により、レジストが塗布されたウエハ103上に投影される。この回路パターン像には0.2 μ m以下の微細な線幅のパターン像が含まれている。ウエハ103は投影光学系105の光軸方向及びこの方向に直交する所望の方向に移動可能である。

【0016】図1における不図示の照明系はArFエキシマレーザー光の波長が可変であり、この波長可変照明系やこれを制御する制御系は前述の特開平1-123238号公報又は特開平8-305034号公報に記載されたものと基本的に同じものを用いることができ、ここでは詳細に説明しない。

【0017】ArFエキシマレーザー光の波長はレーザー共振器内の回折格子やエタロンやプリズム等の分光素子又は共振用のミラーを回転させることにより変えることができ、このときの回転角は、コンピュータによって、大気圧の変化を検出する気圧計の出力に応じて所定のプログラムに基いて求める。

【0018】図1において、投影光学系105は屈折光学素子であるレンズを多数個有しており、この多数個のレンズのレンズとレンズの間の空間はヘリウムガスか窒素ガスで、少なくとも1つの空間が他の少なくとも1つの空間のガスとは種類や屈折率が異なるガスを有するように、満たされている。また、投影光学系105はレンズの硝材として熔融石英と蛍石の二種類を用いている。

【0019】図1の投影光学系105は、レンズ111からレンズ113までのレンズとレンズの間（空気間隔121、空気間隔122）のそれぞれの空間がヘリウムガスで満たされ、レンズ113からレンズ114までのレンズとレンズの間（空気間隔123）が窒素ガスで満たされ、レンズ114からレンズ115までのレンズとレンズの間（空気間隔124）はヘリウムガスで満たされている。

【0020】レンズとレンズの間の空間に充填されている二種類のガス（気体）、即ちヘリウムガスと窒素ガスは、露光光としてのArFエキシマレーザー光に基づく不必要な化学反応を避けるために比較的安定している不活性ガスのうちレーザー光の波長を変えることによって投影光学系の光学特性の変化を補正又は十分に小さくするために互いに屈折率の差が大きいガスであって且つ又比較的安価に手に入るガスとして選ばれている。

【0021】図1において、ヘリウムガスは、ガスボンベ131により供給され、可変バルブ132によりその流量を制御された後、パイプ141を通して空気間隔121の空間へ導入される。空気間隔121の空間と空気間隔122の空間は

パイプ142によりつながっており、このパイプ142を通して空気間隔121の空間のヘリウムガスが空気間隔122の空間に導入される。

【0022】更に、空気間隔122の空間と空気間隔124の空間はパイプ143によりつながっており、このパイプ143を通して空気間隔122の空間のヘリウムガスが空気間隔124の空間に導入される。これらの空気間隔121, 122, 124の各空間は最終的にパイプ144により外気即ち大気に開放されており、従って空気間隔121, 122, 124の各空間内とパイプ142, 143内のヘリウムガスの圧力は大気圧と等しく保たれており、大気圧の変化によりその圧力も変化する。

【0023】窒素ガスは、ガスボンベ133により供給され、可変バルブ134によりその流量を制御された後、パイプ145を通して空気間隔123の空間へ導入される。又、空気間隔123の空間は最終的にパイプ146により外気即ち大気に開放されており、空気間隔123の空間内とパイプ145の窒素ガスの圧力は大気圧と等しく保たれており、大気圧の変化によりその圧力も変化する。

【0024】このように、投影光学系のレンズとレンズの間の空気間隔を満たす不活性ガスの圧力がいつも大気圧と同じ又はほぼ同じになるように設定してあるので、鏡筒構造を複雑化、強化することなく鏡筒内部に不活性ガスを充填することができる。

【0025】本実施形態の投影露光装置は、以上の如き構成を有するので、投影光学系105が熔融石英と蛍石の二種類の硝材を用いた複数のレンズを有していても、気圧計の出力（大気圧変化）に応じてエキシマレーザー光の波長を変えることにより投影光学系105の大気圧変化（不活性ガスの圧力変化）による光学特性の変化を補正又は十分に小さくでき、装置の性能を低下させることがない。

【0026】図2は投影光学系105の実施例を示すレンズ断面図である。この実施例の投影光学系は、設計波長が193nm、投影倍率が1/4倍、開口数が0.60、像面サイズがφ20mmであり、蛍石と熔融石英の二種類の硝材を用いて色収差の補正を行なっている。

【0027】図2の投影光学系は、本発明の技術思想に基き設計されており、マスクのパターン面から最初のレンズまでの間の空間は空気、第1レンズから第3レンズまでの間の各空間はヘリウムガス、開口絞りの近傍にある第3レンズから第4レンズの間の空間は窒素ガス、第4レンズから第5レンズの間の各空間はヘリウムガス、第5レンズからウェハ面の空間は空気が満たされる状況で最良の結像性能が得られるように設計されている。

【0028】図2の投影光学系のレンズデータを表1に示す。

【0029】表1が示す通り、この投影光学系は第5レンズから第10レンズと、第14レンズから第19レン

ズと、第21レンズとが蛍石より成り、第1レンズから第4レンズと第11レンズから第13レンズと第20レンズとが熔融石英から成り、第13レンズである石英レンズと第14レンズである蛍石レンズ間の空気間隔の空間に窒素ガスを充填し、他の全ての空気間隔の空間にヘリウムガスを充填している。

【0030】この投影光学系の結像性能を示すために、その縦収差を図3Aに示す。

【0031】この投影光学系の各レンズに関しての気圧が変化した時の屈折率と波長が変化した時の屈折率を表2に示す。表2を得る際は波長の変化が十分小さくて波長が変化した時のレンズ（硝材）の屈折率の変化が波長の変化に比例するとして計算を行なった。ヘリウムガスや窒素ガスの屈折率が波長が変化しても変化していないのは屈折率の変化量が有効桁数以下の非常に小さい値であるからである。

【0032】本実施例のように投影光学系の空気間隔の空間にヘリウムガスと窒素ガスを充填（パージ）したものの効果を示すために以下に2つの比較例を示す。

【0033】第1の比較例は投影光学系の全ての空気間隔の空間に窒素ガスを充填（パージ）したものの、第2の比較例は投影光学系内の全ての空気間隔の空間にヘリウムガスを充填（パージ）したものである。因みに投影光学系内の全ての空気間隔の空間にヘリウムガスを充填する形態は特公平6-38388号公報に示されている。

【0034】第1、第2比較例の投影光学系は双方とも、本実施例の投影光学系とほぼ同じ構成を有し、設計波長に関する結像性能も本実施例の投影光学系と同等である。

【0035】第1の比較例に関して、図4Aにレンズ断面図を、表3Aにレンズデータを、図5Aに縦収差図を示し、第2の比較例に関して、図4Bにレンズ断面図を、表3Bに設計値を、図5Bに縦収差図を示す。

【0036】本実施例の効果を示すのが表4である。表4は、大気圧の変化が無い時の投影光学系の収差と、大気圧の変化が+50hPa起こった時に投影光学系に生じる収差を補正するためにレーザー光の波長を変更した場合の収差と、両収差の差即ち大気圧が+50hPa 変化した時にレーザー光の波長を変化させることによって大気圧変化による収差変化を補正した場合の残存収差（補正残差）とを示している。

【0037】表4の計算例では、本実施形態においては、大気圧変化による収差変化を補正するための波長の変化量は大気圧変化による球面収差（の変化）を補正する（ゼロにする）ように決めた。

【0038】表4が示す通り、第1の比較例である全ての空気間隔の空間に窒素ガスをパージした投影光学系のコマ収差の補正残差は-0.264μmであるのに対し、第2の比較例である全ての空気間隔の空間にヘリウムガスをパージした投影光学系のコマ収差の補正残差は-0.066μmで

第1の比較例と比べて1/4に減っている。

【0042】

【0039】しかしながら、コマ収差の変化量が0.066 μ mという値は、図1の投影露光装置のように0.2 μ m以下の微細な像を投影する場合は問題になる量である。

【表2】

【0040】これに対し本実施例のコマ収差の補正残差は-0.022 μ mで、第1の比較例と比べて1/12に減っており、第2の比較例と比べても1/3に減っている。また本実施例では、倍率や像面湾曲等の補正残差も比較例1、2の場合より減っている。

【0041】

【表1】

| No. | R | D | N |
|-----|------------|---------|------------------|
| OBJ | 0.000 | 100.000 | Air |
| 1 | 0.000 | 11.958 | SiO ₂ |
| 2 | -402.116 | 2.007 | He |
| 3 | 395.023 | 19.132 | SiO ₂ |
| 4 | -236.446 | 1.681 | He |
| 5 | 259.939 | 16.861 | SiO ₂ |
| 6 | -480.789 | 8.324 | He |
| 7 | 219.234 | 10.000 | SiO ₂ |
| 8 | 94.907 | 27.234 | He |
| 9 | -122.460 | 10.000 | CaF ₂ |
| 10 | 105.727 | 20.559 | He |
| 11 | -123.517 | 10.000 | CaF ₂ |
| 12 | 752.347 | 39.881 | He |
| 13 | -274.596 | 17.473 | CaF ₂ |
| 14 | -153.083 | 27.966 | He |
| 15 | 3193.198 | 24.395 | CaF ₂ |
| 16 | -251.770 | 52.592 | He |
| 17 | 466.125 | 29.129 | CaF ₂ |
| 18 | -424.124 | 40.974 | He |
| 19 | 136.640 | 33.421 | CaF ₂ |
| 20 | 525.798 | 38.861 | He |
| 21 | 914.957 | 10.000 | SiO ₂ |
| 22 | 138.926 | 20.484 | He |
| 23 | -11624.047 | 10.000 | SiO ₂ |
| 24 | 130.736 | 37.967 | He |
| 25 | -114.177 | 10.000 | SiO ₂ |
| 26 | 487.595 | 12.417 | N ₂ |
| 27 | -1681.657 | 26.014 | CaF ₂ |
| 28 | -192.898 | 2.001 | He |
| 29 | 1533.870 | 35.618 | CaF ₂ |
| 30 | -211.929 | 1.294 | He |
| 31 | 337.353 | 27.240 | CaF ₂ |
| 32 | 30759.271 | 1.000 | He |
| 33 | 249.943 | 36.042 | CaF ₂ |
| 34 | -11874.873 | 34.428 | He |
| 35 | 298.757 | 31.905 | CaF ₂ |
| 36 | -1073.124 | 1.013 | He |
| 37 | 115.013 | 29.218 | CaF ₂ |
| 38 | 201.760 | 27.053 | He |
| 39 | -372.793 | 25.000 | SiO ₂ |
| 40 | -596.730 | 9.809 | He |
| 41 | 93.679 | 24.542 | CaF ₂ |
| 42 | 125.530 | 44.507 | Air |
| IMG | 0.000 | 0.000 | |

表 1

| 硝材名、 気体名 | 気圧 (hPa) | 使用波長 (nm) | | |
|------------------|-------------|-----------|-----------|-----------|
| | | 193.001 | 193.000 | 192.999 |
| SiO ₂ | | 1.5607984 | 1.5608000 | 1.5608016 |
| CaF ₂ | | 1.5018990 | 1.5019000 | 1.5019010 |
| Air | 1013 | 1.0003000 | 1.0003000 | 1.0003000 |
| | 1063 | 1.0003158 | 1.0003158 | 1.0003158 |
| N ₂ | 1013 | 1.0003000 | 1.0003000 | 1.0003000 |
| | 1063 | 1.0003157 | 1.0003157 | 1.0003157 |
| He | 1013 | 1.0000300 | 1.0000300 | 1.0000300 |
| | 1063 | 1.0000317 | 1.0000317 | 1.0000317 |

表 2

【0043】

| No. | R | D | N |
|-----|------------|---------|------------------|
| OBJ | 0.000 | 100.000 | Air |
| 1 | 0.000 | 11.958 | SiO ₂ |
| 2 | -402.116 | 2.113 | N ₂ |
| 3 | 395.023 | 19.132 | SiO ₂ |
| 4 | -236.446 | 1.127 | N ₂ |
| 5 | 259.939 | 16.861 | SiO ₂ |
| 6 | -480.789 | 8.671 | N ₂ |
| 7 | 219.234 | 10.000 | SiO ₂ |
| 8 | 94.907 | 27.143 | N ₂ |
| 9 | -122.460 | 10.000 | CaF ₂ |
| 10 | 105.727 | 20.553 | N ₂ |
| 11 | -123.517 | 10.000 | CaF ₂ |
| 12 | 752.347 | 40.814 | N ₂ |
| 13 | -274.596 | 17.473 | CaF ₂ |
| 14 | -153.083 | 25.874 | N ₂ |
| 15 | 3193.198 | 24.395 | CaF ₂ |
| 16 | -251.770 | 54.799 | N ₂ |
| 17 | 466.125 | 29.129 | CaF ₂ |
| 18 | -424.124 | 40.000 | N ₂ |
| 19 | 136.640 | 33.421 | CaF ₂ |
| 20 | 525.798 | 38.940 | N ₂ |
| 21 | 914.957 | 10.000 | SiO ₂ |
| 22 | 138.926 | 20.487 | N ₂ |
| 23 | -11624.047 | 10.000 | SiO ₂ |
| 24 | 130.736 | 37.945 | N ₂ |
| 25 | -114.177 | 10.000 | SiO ₂ |
| 26 | 487.595 | 12.438 | N ₂ |
| 27 | -1681.657 | 26.014 | CaF ₂ |
| 28 | -192.898 | 2.213 | N ₂ |
| 29 | 1533.870 | 35.618 | CaF ₂ |
| 30 | -211.929 | 1.021 | N ₂ |
| 31 | 337.353 | 27.240 | CaF ₂ |
| 32 | 30759.271 | 1.095 | N ₂ |
| 33 | 249.943 | 36.042 | CaF ₂ |
| 34 | -11874.873 | 34.440 | N ₂ |
| 35 | 298.757 | 31.905 | CaF ₂ |
| 36 | -1073.124 | 1.000 | N ₂ |
| 37 | 115.013 | 29.218 | CaF ₂ |
| 38 | 201.760 | 27.070 | N ₂ |
| 39 | -372.793 | 25.000 | SiO ₂ |
| 40 | -596.730 | 9.655 | N ₂ |
| 41 | 93.679 | 24.542 | CaF ₂ |
| 42 | 125.530 | 44.654 | Air |
| IMG | 0.000 | 0.000 | |

表 3 A

【表3】

| No. | R | D | N |
|-----|------------|---------|------------------|
| OBJ | 0.000 | 100.000 | Air |
| 1 | 0.000 | 11.958 | SiO ₂ |
| 2 | -402.116 | 2.115 | He |
| 3 | 395.023 | 19.132 | SiO ₂ |
| 4 | -236.446 | 1.000 | He |
| 5 | 259.939 | 16.861 | SiO ₂ |
| 6 | -480.789 | 8.673 | He |
| 7 | 219.234 | 10.000 | SiO ₂ |
| 8 | 94.907 | 27.090 | He |
| 9 | -122.460 | 10.000 | CaF ₂ |
| 10 | 105.727 | 21.251 | He |
| 11 | -123.517 | 10.000 | CaF ₂ |
| 12 | 752.347 | 39.848 | He |
| 13 | -274.596 | 17.473 | CaF ₂ |
| 14 | -153.083 | 27.418 | He |
| 15 | 3193.198 | 24.395 | CaF ₂ |
| 16 | -251.770 | 52.319 | He |
| 17 | 466.125 | 29.129 | CaF ₂ |
| 18 | -424.124 | 40.249 | He |
| 19 | 136.640 | 33.421 | CaF ₂ |
| 20 | 525.798 | 38.887 | He |
| 21 | 914.957 | 10.000 | SiO ₂ |
| 22 | 138.926 | 20.507 | He |
| 23 | -11624.047 | 10.000 | SiO ₂ |
| 24 | 130.736 | 38.010 | He |
| 25 | -114.177 | 10.000 | SiO ₂ |
| 26 | 487.595 | 12.223 | He |
| 27 | -1681.657 | 26.014 | CaF ₂ |
| 28 | -192.898 | 2.327 | He |
| 29 | 1533.870 | 35.618 | CaF ₂ |
| 30 | -211.929 | 1.000 | He |
| 31 | 337.353 | 27.240 | CaF ₂ |
| 32 | 30759.271 | 1.000 | He |
| 33 | 249.943 | 36.042 | CaF ₂ |
| 34 | -11874.873 | 34.717 | He |
| 35 | 298.757 | 31.905 | CaF ₂ |
| 36 | -1073.124 | 1.083 | He |
| 37 | 115.013 | 29.218 | CaF ₂ |
| 38 | 201.760 | 27.045 | He |
| 39 | -372.793 | 25.000 | SiO ₂ |
| 40 | -596.730 | 9.712 | He |
| 41 | 93.679 | 24.542 | CaF ₂ |
| 42 | 125.530 | 44.577 | Air |
| IMG | 0.000 | 0.000 | |

表 3 B

【0044】

【表4】

| | | 倍率 | 像面 (S) | 像面 (M) | 球面収差 | コマ収差 | 波長変化 |
|---------------------------------------|----------|-------|---------------|---------------|-----------|-----------|--------|
| | | ppm | μm | μm | λ | λ | pm |
| 全て N_2 パージ | original | 0.00 | -0.387 | -0.465 | 0.003 | -0.026 | |
| | 気圧変化補正 | 7.38 | -0.423 | -0.423 | 0.003 | -0.290 | -22.38 |
| | 収差補正残差 | 7.37 | -0.036 | 0.042 | 0.000 | -0.264 | |
| 全て He パージ | original | 0.00 | -0.508 | -0.572 | 0.006 | -0.054 | |
| | 気圧変化補正 | -3.91 | -0.513 | -0.576 | 0.006 | -0.120 | -3.54 |
| | 収差補正残差 | -3.91 | -0.005 | -0.004 | 0.000 | -0.066 | |
| 第26面と第27面 の間のみ N_2 パージ | original | 0.00 | -0.505 | -0.489 | 0.003 | -0.037 | |
| | 気圧変化補正 | -2.31 | -0.510 | -0.487 | 0.003 | -0.069 | -2.16 |
| | 収差補正残差 | -2.31 | -0.004 | 0.002 | 0.000 | -0.022 | |

表 4

【0045】本実施形態においては、気圧変化による光学特性の変化を補正するための露光光の波長の変化量は球面収差の変化をゼロまで（ゼロでなくても良い）補正するように設定していたが、この波長変化量は球面収差以外の光学特性の変化例えばコマ収差や像面湾曲非点収差や歪曲収差等の他の収差の変化、或いは球面収差とコマ収差と像面湾曲と非点収差と歪曲収差のうちの複数の収差の変化、を補正したり十分に小さくするように設定しても良い。

【0046】即ち、この波長変化量は、特定の一つの光学特性の変化量を十分に補正したり十分に小さくするように設定するのではなく、複数の光学特性、例えば複数の収差を補正したり十分に小さくするために最適な波長変化量を選択しても良いのである。

【0047】本実施形態は投影光学系のどの空気間隔の空間にどのような不活性ガス（気体）を充填するかを全体的に収差の補正残差が小さくなるように決めたが、別の収差補正手段により補正できる収差がある場合は、不活性ガスの種類と充填箇所を決める際に、別の収差補正手段のある収差の補正残差は考慮せずに、別の収差補正手段の無い収差の補正残差を考慮する（収差を補正する）ようにしても良い。

【0048】例えば、特開平7-92424号公報の投影露光装置のように投影光学系の球面収差を補正する補正光学系を備える場合や、特開平2-81019号公報と特開平3-88317号公報の投影露光装置のように投影光学系の投影倍率や歪曲収差を補正する補正光学系を備える場合や、特開平10-27743号公報や特開平10-242048号公報の投影露光装置のように投影光学系の軸上及び軸外非点収差を補正する補正光学系を有する場合や、特開平8-22951号公報の投影露光装置のようにコマ収差を補正する補正光学系を有する場合や、特開平10-242048号公報の投影露光装置のように、像面湾曲を補正する補正光学系を有する場

合には、それぞれの補正系により対応する収差等の光学特性を補正できるので、補正系を有する光学特性については大気圧変化やレーザ光の波長変化によってこの光学特性が変化しても構わず、補正系を有していない他の光学特性（一種又は複数種の収差）の補正残差を抑えるように不活性ガスの種類と充填箇所を決めた方が良い。

【0049】本実施形態では、投影光学系の空気間隔の相異なる空間に充填する気体はヘリウムガスと窒素ガスの二種類の不活性ガスをを用いたが、これら以外の二種類の不活性ガスをを用いても構わないし、全部で三種類以上の不活性ガスをを用いても構わない。また、空気と一種又は複数種の不活性ガスをを用いることもできる。

【0050】又、それぞれの空気間隔の空間に充填する気体は、一種から成るものに限定されず、例えばヘリウムと窒素を混合したガスのように複数種の気体を有する混合ガスでも構わない。

【0051】本実施形態の投影光学系は一ヶ所の空気間隔の空間に窒素ガスを充填し、残りの全ての空気間隔の空間にヘリウムガスを充填していたが、窒素ガスの充填箇所（空気間隔空間）が複数箇所になるような系も構成できる。

【0052】本実施形態の投影光学系としては、複数のレンズより成る光学系以外に、複数のレンズと凹面鏡を備える光学系が使用可能である。

【0053】以上説明した各実施例は、光源としてArFエキシマレーザを用いるものであったが、光源として、波長250nm以下の露光光を供給する、例えばKrFエキシマレーザ（波長約248nm）等を用い、設計波長をこの光源の波長とした投影光学系を用いる場合にも本発明は適用できる。

【0054】本実施形態の投影露光装置はステップアンドリビート型のステッパー又はステップアンドスキャン型のステッパーに適用できる。

【0055】図6は半導体デバイスの製造フローを、図

7は図6のウエハプロセスのフローを示す図であり、上記各実施形態の投影露光装置を図7の「露光」工程で用いることによって、大気圧が変化してもデバイスパターン像のうちの $0.2\mu\text{m}$ 以下の微細な線幅のパターン像さえも解像できるので、極めて集積度の高い半導体デバイスが得られる。

【0056】

【発明の効果】以上、本発明によれば、大気圧変化による投影光学系の光学特性の変化を小さく又は実質的に補正でき、従って大気圧が変化しても例えば $0.2\mu\text{m}$ 以下の微細な線幅のパターン像さえも解像できる投影露光装置やデバイス製造方法を提供できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の投影露光装置の一実施形態を示す概略図である。

【図2】図1の投影光学系105の一例を示すレンズ断面図である。

【図3】図2と表1とで示す投影光学系の縦収差を示す図である。

【図4】図2と表1とで示す投影光学系の効果を示すために設計を行なった比較例の投影光学系のレンズ断面図

で、図4Aが第1の比較例のレンズ断面図、図4Bが第2の比較例のレンズ断面図である。

【図5】図4が示す第1、第2の比較例の縦収差を示す図で、図5Aが第1の比較例の縦収差図、図5Bが第2の比較例の縦収差図である。

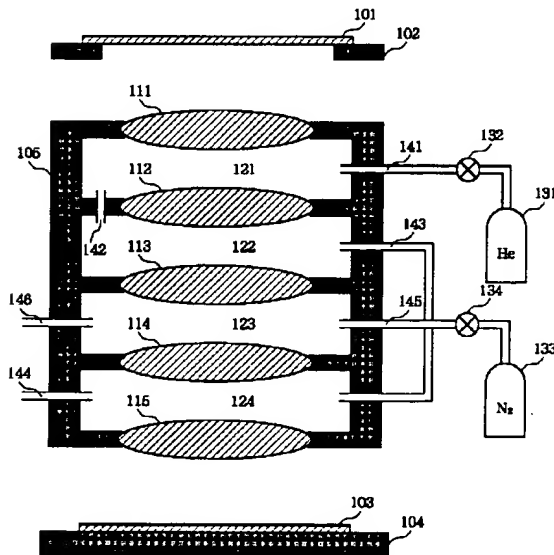
【図6】半導体デバイスの製造フローを示す図である。

【図7】図6のウエハプロセスを示す図である。

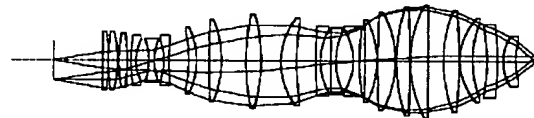
【符号の説明】

- 101 マスク
- 102 マスクステージ
- 103 ウエハ
- 104 ウエハステージ
- 105 投影光学系
- 111, 112, 113, 114, 115 レンズ
- 121, 122, 123, 124 空気間隔
- 131 ヘリウムガスボンベ
- 132, 134 バルブ
- 133 窒素ガスボンベ
- 141, 142, 143, 144, 145, 146 気体を通すパイプ

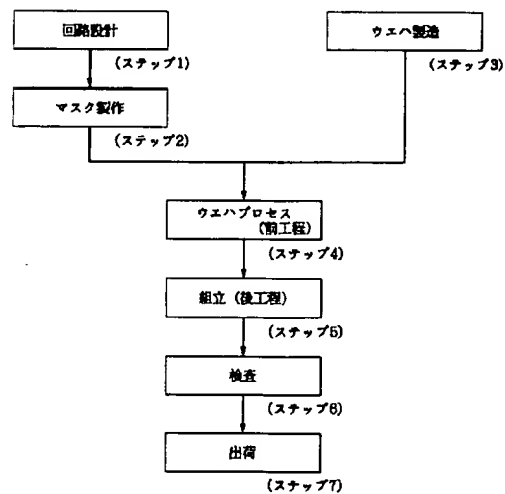
【図1】



【図2】

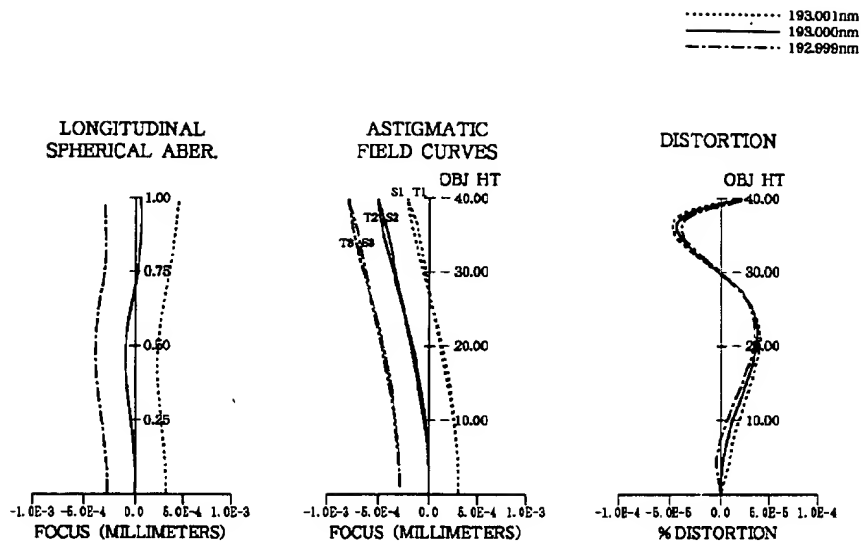


【図6】

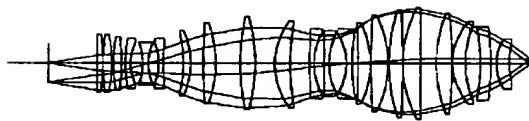


半導体デバイス製造フロー

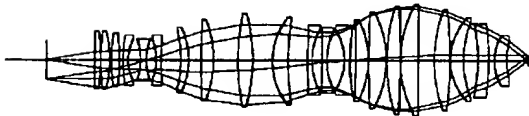
【図3】



【図4】

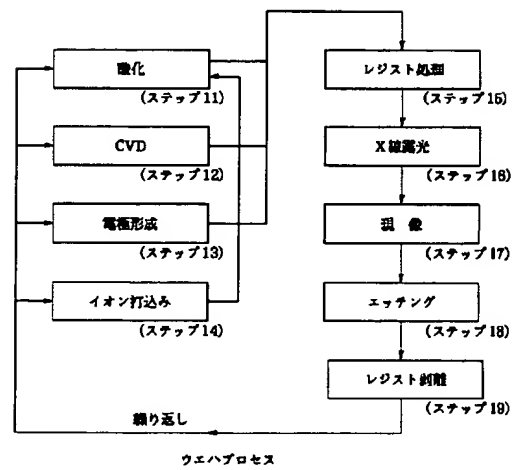


A

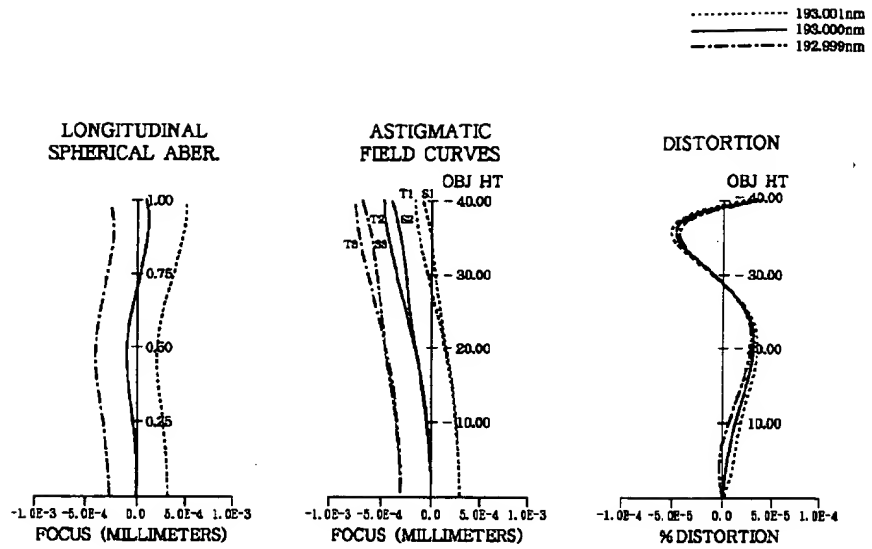


B

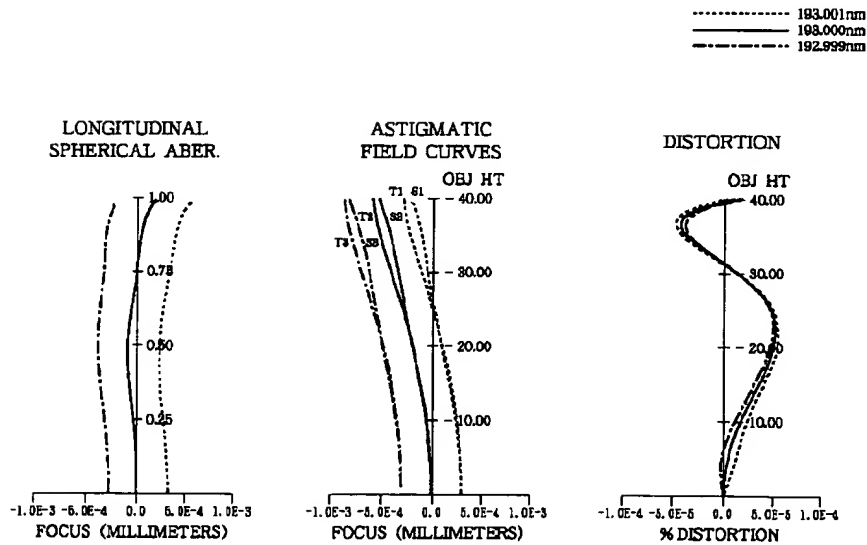
【図7】



【図5】



A



B